

施氮水平和栽插密度对水稻生育中后期硝酸还原酶活性的影响

叶全宝 张洪程* 戴其根 李华 霍中洋 许轲 唐娟

扬州大学作物栽培工程技术中心, 扬州 225009

提要 水稻生育中后期的叶片硝酸还原酶(NR)活性呈低—高—低的变化趋势, 抽穗期最大, 拔节期次之, 抽穗后20 d最低。施氮量对NR活性的影响大于栽插密度, 随着施氮水平的增加, NR活性呈上升趋势; 而栽插密度增大, NR活性则呈下降趋势。叶片中的NR活性与产量、单位面积穗数有较高的正相关关系, 与千粒重和结实率呈弱度负相关, 与每穗粒数的相关性则因品种不同而异。

关键词 水稻; 施氮水平; 栽插密度; 生育期; 硝酸还原酶活性

Effects of Nitrogen Amount Applied and Planting Density on Nitrate Reductase Activity of Rice During Middle-late Growth Stages

YE Quan-Bao, ZHANG Hong-Cheng*, DAI Qi-Gen, LI Hua, HUO Zhong-Yang, XU Ke, TANG Juan

Engineering and Technology Center for Crop Cultivation, Yangzhou University, Yangzhou 225009

Abstract During middle and late growth stages, nitrate reductase (NR) activity in rice leaves showed “low-high-low” change tendency and the activity at heading stage was the highest, at 20 days after heading was the lowest, at jointing stage was in the middle. The effect of nitrogen amount applied was larger than that of planting density. NR activity in leaves increased gradually with increasing of nitrogen amount applied, but decreased with increasing of planting density. The correlation coefficient among NR activity in leaves and yield and panicles per unit area was positive, the correlation coefficient among NR activity in leaves and 1 000-grain weight and seed-setting rate was little negative, the correlation coefficient between NR activity in leaves and panicles per unit area varied in different cultivars.

Key words rice; nitrogen amount applied; planting density; growth stage; NR activity

一般来讲, 绿色组织中的硝态氮同化比非绿色组织更为活跃。硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)是植物体内硝态氮同化的调节酶和限速酶, 它不仅对外界氮肥反应敏感, 且在植物对氮肥的吸收利用中起关键作用^[1, 2]。在水稻氮代谢过程中, 硝酸还原酶影响作物NO₃-N的同化水平, 对水稻的生长发育、籽粒产量和品质都有影响。林振武等^[3, 4]和汤玉玮等^[5]的研究表明, 水稻品种的耐肥性与硝酸还原酶活力呈负相关, 即耐肥性强的品种硝酸还原酶活力总是比耐肥性弱的品种低; 他们认为品种间酶活力差异是其遗传的反映, 并且认为硝酸还原酶活力可作为育种中的耐肥性生化指标。有关硝酸还原酶活性与施氮量间关系的研究已早有报道^[6~14]。但这些工作大多集中在幼苗时期, 而有关不同密肥条件下水稻生育中后期叶片的硝酸还原酶活性比较的研究报道

尚少^[11~14]。鉴于此, 本文对不同施氮水平和不同密度下的水稻生育中后期的硝酸还原酶活性变化进行了检测, 现报道如下。

材料与方法

试验于2001和2002年在本校实验场进行。前茬为小麦, 土质为砂壤土, 地力中等, 土壤全氮含量为1.1 g·kg⁻¹, 碱解氮含量为96.8 mg·kg⁻¹, 速效磷含量为32.6 mg·kg⁻¹, 速效钾含量为90.1

收稿 2004-07-06 修定 2004-10-27

资助 国家自然科学基金(30370827)、国家科技攻关计划(2004BA520A03)、中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环重点实验室课题、江苏省高等学校研究生创新计划。

* 通讯作者(E-mail: qgdai@yzu.edu.cn, Tel: 0514-7979220)。

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。水稻(*Oryza sativa*)品种为武运粳7号(常规粳稻当家品种)和常优1号(杂交粳稻优势组合),两品种均为江苏省大面积推广应用的代表性粳稻品种。

试验采用裂区设计方法,以品种为主处理,施氮水平为大裂区,设0、225、300 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 3个施肥区;以栽插密度为小裂区,设7.5、15.0、22.5、30.0、37.5 万穴 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 5个栽插密度。试验于5月11日播种,6月12日移栽,30个处理,2次重复。小区面积8 m^2 ,小区间作埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂体,保证各小区单独排灌,四周设保护行。常优1号每穴栽1苗,武运粳7号每穴栽2苗。氮肥为基肥:穗肥=5:5,用尿素折合成纯氮表施,基肥1次性施入,穗肥分别于倒4、倒2叶各施50%;P、K肥同常规栽培,施 P_2O_5 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 K_2O 150 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,全部用作基肥。其它管理措施统一按常规栽培要求实施。

NR活性采用离体法^[15]测定,分别取处于拔节期、抽穗期和抽穗后20 d的水稻取剑叶(拔节期为倒2叶)进行测定。成熟时每小区取5穴考察有

效穗、每穗总粒数、每穗实粒数,结实率、千粒重和单穗重等经济性状后,每小区实收测产。数据分析使用SAS(6.12)软件。

两年试验结果变化趋势基本一致,本文主要对2001年的资料加以分析。

实验结果

1 生育后期水稻叶片中硝酸还原酶活性变化

从图1可以看出,2个水稻品种在各施氮水平和栽插密度下,其叶片NR活性在生育后期的变化动态基本一致,均呈现低—高一低的变化趋势,抽穗期最大,拔节期次之,抽穗后20 d最低。生育中后期NR活性的这种变化趋势,可能是水稻生育特点所决定的。一般来说,抽穗前后水稻营养生长与生殖生长俱盛,代谢过程十分旺盛,包括硝酸还原酶在内的各种酶也保持较高的活性。

不同品种水稻间的NR活性有差异^[1,3,6]。本文中的2个水稻品种叶片NR活性也不同,在任一密度和氮肥水平下,杂交粳稻的NR活性和同化硝态氮的能力明显高于常规粳稻(图1),差异达极显

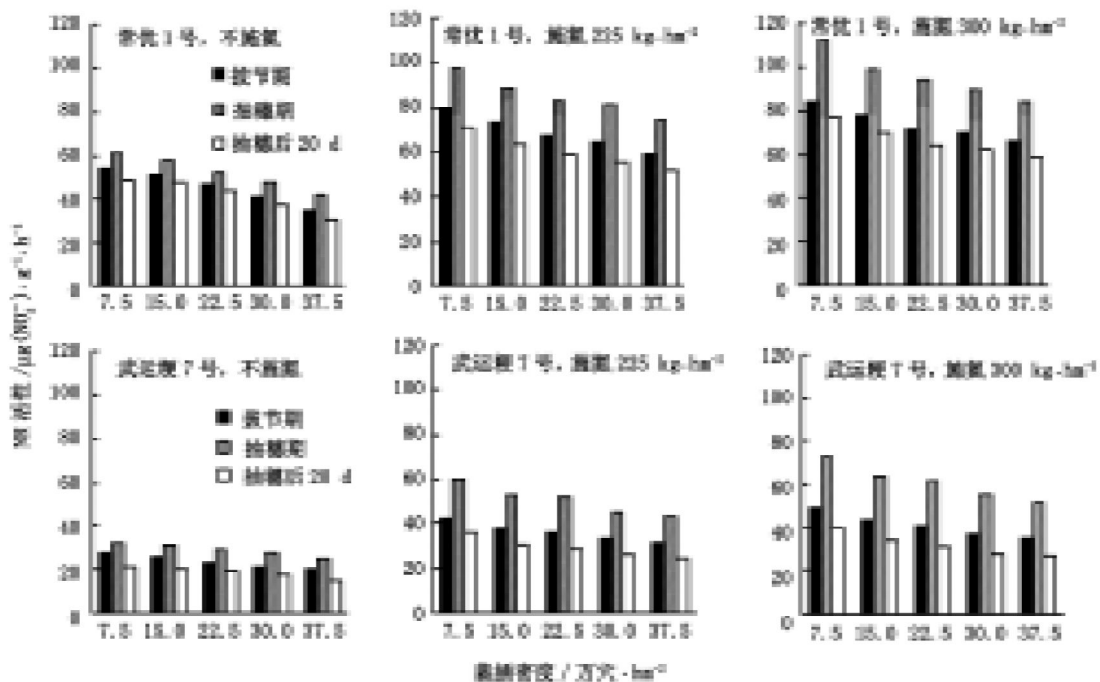


图1 不同施氮水平和栽插密度下水稻的NR活性

Fig. 1 Nitrate reductase activities of rice under different nitrogen amounts applied and planting density

著水平($P < 0.01$)。

2 施氮水平和栽插密度对水稻叶片硝酸还原酶活性的影响

从图1可以看出:

(1) 从拔节期到抽穗后20 d, 2个品种叶片NR活性皆随着施氮水平增加而增加, 施氮水平与NR活性之间存在着极显著的正相关。说明施氮能提高水稻叶片的NR活性。根据NR比 NO_3^- 浓度更能代表体内氮素代谢水平的看法^[1,16], 我们又比较了不同施肥水平下的NR活性, 发现水稻叶片的NR活性水平随稻田中 NO_3^- 浓度的升高而增加。抽穗期距施肥时间较近, 稻田中 NO_3^- 较充分, 因此氮肥处理间的NR活性差异明显。而拔节期和抽穗后20 d, 由于距施肥时间较长, 稻田中 NO_3^- 浓度下降, 不但0和 $225 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施肥处理的NR活性低于抽穗期的同组水平, 而且 $300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施肥处理的NR活性也低于抽穗期的 $225 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施肥处理的水平(图1)。这似乎表明NR活性可以反映土壤中氮素营养状况。

(2) 密度对水稻NR活性也有影响, 两个水稻品种的NR活性随着密度的增大均呈下降趋势。方差分析表明, 不同栽插密度间的NR活性差异极显著($P < 0.01$)。这表明密度增加, 群体生长量增大, 可供单株稻株所吸收的硝态氮减少, 因而叶片的NR活性下降。

(3) 施氮水平和栽插密度对不同生育期水稻叶片的NR活性影响有一定的差异。NR活性在施氮水平间的变异系数远大于密度间的变异系数(表1), 说明施氮水平对水稻叶片NR活性的影响比栽插密度的影响大。可见, 施氮水平比栽插密度对NR活性有更大的调节作用。

3 硝酸还原酶活性与产量构成因素的关系

2个水稻品种在不同生育时期功能叶的NR活性与产量及产量构成因素的相关分析结果(表2)表明, 抽穗期的2个品种叶片NR活性与产量呈极显著的正相关, 与单位面积穗数也呈显著的正相关, 与每穗粒数、千粒重和结实率相关关系不一致; 拔节期和抽穗后20 d的2个品种叶片NR活

表1 不同生育期不同处理的水稻叶片NR活性的变异系数

Table 1 Variation coefficients of NR activity in rice leaves of different treatments at different growth stages

变异来源	常优1号			武运粳7号		
	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d
施氮水平	23.9	29.3	23.1	27.0	40.0	26.5
密度	12.0	11.6	12.8	12.3	12.9	15.5
施氮水平 × 密度	23.1	27.1	23.0	25.6	32.2	27.0

表2 水稻叶片各生育期NR活性与产量及其构成因素的相关分析

Table 2 Correlation analysis between NR activity in rice leaves and yield characters

品种	产量			单位面积穗数			每穗粒数		
	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d
常优1号	0.5969*	0.6527**	0.5515*	0.5441*	0.6057*	0.5003	-0.0141	-0.0971	-0.0074
武运粳7号	0.5927*	0.6488**	0.5018*	0.4886	0.5299*	0.3832	0.7405**	0.5286*	0.7311**

品种	千粒重			结实率		
	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d	拔节期	抽穗期	抽穗后20 d
常优1号	-0.4922	-0.5558*	-0.5179*	-0.3879	-0.4009	-0.3414
武运粳7号	-0.2473	-0.2006	-0.2627	-0.3857	-0.4110	-0.2932

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

性与产量呈显著的正相关,与其它产量构成因素相关则不一致。可见,不同生育期水稻的NR活性与产量分别表现出不同程度的正相关,抽穗期的这种相关性最为密切。

讨 论

水稻叶片是水稻硝酸盐同化还原的最主要部位,因此,功能叶的NR活性即可以代表水稻体内硝酸还原酶水平^[17]。本文结果表明,生育中后期的水稻叶片NR活性呈现低—高一低的变化趋势,从拔节期到抽穗后20 d逐渐上升,抽穗期最大,抽穗后20 d最低。抽穗期NR活性较高,这可能与这个时期水稻发育旺盛有关。因此,生产中选择最佳施肥时期时似乎可以考虑这一点。另外,据计算,水稻生育中后期的叶片NR活性与产量有较高的正相关,因而,设法保持水稻生育中后期较高的叶片NR活性对提高产量是重要的。

植物体内NR活性的高低,直接影响到土壤中无机氮的利用率,从而对作物的产量和品质产生影响^[18,19]。在作物栽培中,有人把NR活性的高低作为诊断作物的营养指标之一,或者作为农田的一项施肥指标^[20,21]。本文结果也显示,在一定范围内,NR活性与施肥量呈正相关。可见,NR活性可以反映土壤中氮素水平而用作为施肥指标。NR活性越高,氮素代谢越旺盛,NO₃-N的利用率越高,因此,选择NR活性高的时期施肥会大大提高施肥效果^[16]。从本文中NR活性动态变化来看,无论是施肥还是不施肥的水稻叶片中,NR活性均以抽穗期为最高,说明此期间水稻体内氮素代谢旺盛,是后期最大需肥期,因此,在后期施穗肥,可以有效地促进水稻生长发育。

本文中不同密肥条件下杂交粳稻和常规粳稻的NR活性变化规律也进一步证实了前人^[1,3,5]对此问题的看法:NR活性与作物耐肥性有关,耐肥性弱的品种NR活性高,而耐肥性强的品种NR活性低。NO₃-N是水稻中后期吸收的主要氮素形态,外界NO₃⁻进入植物体内必须先还原为NO₂⁻,再由亚硝酸还原酶还原为NH₄⁺,才能参与氨基酸、蛋白质的合成。由于NR在植物体内有这样的作用,所以,它与作物耐肥性相关是必然的。根据本文结果,杂交粳稻常优1号在中氮水平下产量最高,常规粳稻武运粳7号在高氮水平下产量最高,表明耐肥性弱的常优1号利用氮素肥料更为经济有效,它可在较低氮素水平上获得较好的

产量。因此,有人曾提出在水稻育种中根据NR活性高低,有目的地选育耐肥高产和适应较低肥力水平的耐肥中等和较弱品种看法是有道理的^[6]。

参考文献

- 1 林振武,郑朝峰,吴少伯等. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的研究. II. 粳、籼稻对硝态氮的吸收和同化. 作物学报, 1986, 12(1): 9~14
- 2 孙国荣,朱鹏,肖翊华等. 杂交水稻硝酸还原酶活性和NO₃⁻含量昼夜变化规律的研究. 武汉大学学报(自然科学版), 1992, (1): 91~97
- 3 林振武,陈敬祥,汤玉玮等. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的研究. 中国农业科学, 1983, (3): 37~43
- 4 林振武,陈敬祥. 硝酸还原酶作为作物育种的生化指标研究. 河北农业大学学报, 1987, 10(3): 104~110
- 5 汤玉玮,林振武,陈敬祥. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的相关性及其在生化育种上应用的探讨. 中国农业科学, 1985, (6): 39~45
- 6 李豪喆,林振武,汤玉玮. 不同类型水稻幼苗硝酸盐还原酶的活力. 实验生物学报, 1981, 14(4): 407~409
- 7 杨肖娥,孙羲. 不同水稻品种对低氮反应的差异及其机制的研究. 土壤学报, 1992, 29(1): 73~79
- 8 王永锐,周洁. 杂交水稻始穗期氮钾营养对剑叶生理特性的影响. 中国水稻科学, 1997, 11(3): 165~169
- 9 刘强,荣湘民,朱红梅等. 不同水稻品种在不同栽培条件下氮代谢的差异. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2001, 21(6): 415~420
- 10 聂军,肖剑,戴平安等. 控释氮肥对水稻氮代谢关键酶活性及糙米蛋白质含量的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(4): 318~321
- 11 孙国荣,朱鹏,刘文芳等. 杂交水稻生长发育过程中硝酸还原酶活性与产量性状的关系. 武汉植物学研究, 1992, 10(2): 185~190
- 12 曾富华,王荣臣,吴岳轩等. 两个杂交水稻组合生育后期叶片中氮代谢的比较研究. 作物学报, 1996, 22(2): 161~166
- 13 樊金娟,李雪梅,阮燕晔等. 籼优418与亲本生育后期叶片部分生理性状的研究. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(5): 373~375
- 14 罗安程,杨肖娥. 氮钾供应水平与水稻生育后期对不同形态氮吸收的关系. 中国农业科学, 1998, 31(3): 1~4
- 15 邹琦主编. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000. 56~58
- 16 王宪泽,张树芹. 不同蛋白质含量小麦品种叶片NRA与氮素积累关系的研究. 西北植物学报, 1999, 19(2): 315~320
- 17 林振武,汤玉玮. 水稻硝酸还原酶活力的调节. 中国科学(B辑), 1989, (4): 379~385
- 18 Deckard EL, Busch RH. Nitrate reductase assays as a prediction test for crosses and lines in spring wheat. Crop Sci, 1978, 18: 289~293
- 19 May L, Van Sanford DA, Mackown CT et al. Genetic variation for nitrogen use in soft red X hard red winter wheat populations. Crop Sci, 1991, 31: 626~630
- 20 洪剑明,柴小清,曾晓光等. 小麦硝酸还原酶活性与营养诊断和品种选育研究. 作物学报, 1996, 22(5): 633~637
- 21 马凤鸣,高继国. 硝酸还原酶活力作为甜菜氮素营养诊断及预测产糖量指标的研究. 中国农业科学, 1996, 29(5): 16~22